赣北阳储岭斑岩型钨钼矿床成矿岩体副矿物 U-Pb 年龄精确厘定*

范楚涵，倪　培，王国光，张凯涵，王广琳，李文生，崔健铭，贺佳峰

（南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室 地质流体研究所，地球科学与工程学院，关键地球物质循环前沿科学中心，江苏 南京　210023）

摘　要　赣北阳储岭大型斑岩型钨钼矿床地处江南造山带东部九岭-障公山隆起带，是江南钨矿带典型的斑岩型白钨矿矿床。钨钼矿矿体主要发育于二长花岗斑岩内，少量发育于花岗闪长岩和爆破角砾岩中。矿体以脉状、网脉状、似层状、透镜状、星点状产出。前人针对阳储岭矿床已开展全岩 Rb-Sr 法、全岩 K-Ar 法、锆石 U-Pb 法、辉钼矿 Re-Os 法等诸多定年工作，但因"过剩 Ar"的存在、后期热事件扰动和高 U 花岗岩中锆石发生蜕晶化等原因，导致成岩年龄结果及解释仍存在争议。文章选取与成矿相关的二长花岗斑岩开展了独居石和金红石原位 LA-ICP-MS U-Pb 同位素定年分析，以精确厘定成矿岩体的侵位年龄。研究表明，独居石年龄为（146.06±0.61）Ma（MSWD=10.2），金红石年龄为（150.20±2.60）Ma（MSWD=1.13）。此外，独居石是开展高 U 成钨岩体定年的有力对象，独居石年龄与前人发表的高精度辉钼矿 Re-Os 年龄在误差范围内相一致，独居石年龄可更准确地代表矿床的成矿岩体年龄。阳储岭矿床所处的江南钨矿带内的矿床形成时代主要可分为中侏罗世（约 162 Ma）、晚侏罗世（150~135 Ma）和早白垩世（135~125 Ma）3 个阶段。其中，阳储岭钨钼矿床属区内第二成矿阶段，该阶段古太平洋板块俯冲角度变缓，江南钨矿带处于弧后环境。

关键词　地球化学；斑岩型钨钼矿床；独居石；金红石；LA-ICP-MS U-Pb 同位素定年；阳储岭；赣北

中图分类号： P618.65；P618.67　　　　　　　　　　**文献标志码：** A

Accessory minerals U-Pb geochronology of monzogranitic porphyry in Yangchuling porphyry W-Mo deposit in northern of Jiangxi Province, South China

FAN ChuHan, NI Pei, WANG GuoGuang, ZHANG KaiHan, WANG GuangLin, LI WenSheng, CUI JianMing and HE JiaFeng

(State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, Institute of Geo-Fluids, School of Earth Science and Engineering, Frontiers Science Center for Critical Earth Material Cycling, Nanjing University, Nanjing, 210023, Jiangsu, China)

Abstract

The Yangchuling large porphyry tungsten-molybdenum deposit is located in the Jiuling-Zhanggongshan uplift zone of the eastern part of the Jiangnan orogenic belt. It is a typical porphyry type scheelite deposit in the Jiangnan tungsten belt. Scheelite and molybdenite ore bodies are mainly developed in monzogranite porphyry, and a small amount is developed in granodiorite and explosive breccia. The ore body occurs in vein, veinlets, stratoid, lenticular and star point shape. Previous geochronological studies have been carried out for the Yangchuling

deposit, such as whole rock Rb-Sr method, whole rock K-Ar method, zircon U-Pb method, molybdenite Re-Os method and so on. However, due to the existence of "excess Ar", the disturbance of late thermal events and the metamictization of zircons in high U granites, the age results and interpretation of rock-forming ages are still controversial. In this study, the in situ LA-ICP-MS U-Pb isotopic analysis was performed on monazite and rutile in monzogranite porphyries associated with W-Mo mineralization, so as to accurately determine the emplacement age of the ore-forming granites. The age of monazite is (146.06±0.61)Ma (MSWD=10.2) and the age of rutile is (150.20±2.60)Ma (MSWD=1.13). In addition, monazite is a powerful dating object for the high U intrusive rocks with tungsten mineralization, and the monazite age is consistent with the molybdenite age of high precision Re-Os dating within the error range published previously, the monazite age can more accurately represent the age of ore-forming intrusions of the deposit. The mineralization ages of the deposits in the Jiangnan tungsten belt can be divided into three stages: Middle Jurassic (about 162 Ma), Late Jurassic (150~135 Ma) and Early Cretaceous (135~125 Ma). The Yangchuling W-Mo deposit is in the second mineralization stage, during which the subduction angle of the ancient Pacific Plate slows down, and jiangnan tungsten deposit is in a back-arc environment.

Key words: geochemistry, porphyry tungsten molybdenum deposit, monazite, rutile, LA-ICP-MS U-Pb isotope dating, Yangchuling, northern Jiangxi

钨是中国的优势矿种以及重要战略资源。中国的钨矿储量占全球总储量的60%,产量占全球年产量的80%以上,均居世界第一(USGS,2018)。虽然钨矿物或含钨矿物的种类多达20余种,但有工业开采价值的只有黑钨矿和白钨矿2种,其中,石英脉型黑钨矿床和矽卡岩型白钨矿床是最具工业价值的2种钨矿类型,占比可达90%(盛继福等,2015;徐克勤等,1959)。由于多年的无序过度开采,中国的石英脉型黑钨矿床储量已经大大降低,钨的资源优势受到严重挑战。近年来,江南钨矿带(图1)斑岩型-矽卡岩型白钨矿床的找矿取得重大进展,如赣北大湖塘石门寺钨多金属矿床WO₃金属量达74万t(Fan et al.,2019);朱溪矿床中WO₃金属量达344万t(Ouyang et al.,2019)。江南钨矿带已成为世界级超大型钨矿集区,将重塑中国乃至世界钨矿空间分布格局。

江南钨矿带平行分布于长江中下游铁铜金钨成矿带南-南东侧,带内有矽卡岩型、斑岩型、石英脉型等多类钨矿床发育。前人对江南钨矿带大多数钨矿床的地球化学特征、成矿机制、成矿物源等进行了研究(Mao et al.,2013;2017;Song et al.,2012;Su et al.,2018;罗刚等,2016;秦燕等,2010a;2010b)。针对该带中阳储岭矿床的成岩成矿年代开展了包括锆石U-Pb法、全岩Rb-Sr法、辉钼矿Re-Os法、白云母⁴⁰Ar/³⁹Ar法、白钨矿Sm-Nd法在内的多项研究(陈国华等,2015;陈雪霏等,2013;Dai et al.,2018;刘善宝等,2017;秦燕等,2010a;2010b;Song et al.,2012;

Zhao et al.,2017),其中关于成岩年代的研究数据包括,采用全岩Rb-Sr法对二长花岗斑岩的测年结果为138~139 Ma,对花岗闪长岩的测年结果为141~143 Ma(李秉伦等,1985;满发胜等,1988);采用全岩K-Ar法对二长花岗斑岩的测年结果为175~157 Ma,对花岗闪长岩的测年结果为134 Ma(迟实福等,1985;满发胜等,1988);采用锆石U-Pb法对二长花岗斑岩的测年结果为144 Ma,对花岗闪长岩的测年结果为145~150 Ma(Mao et al.,2017;曾庆权等,2019)。由于受测年矿物的封闭温度、测年矿物结构、实验样品数量及方法、测年矿物后期改造等因素的影响,阳储岭钨矿的年代学研究结果变化较大(175~134 Ma),从而使得对于成岩成矿年代和成矿地球动力学背景认识不清。

在采用的多种同位素测年方法中,U-Th-Pb同位素年代学研究应用最为广泛,它可以推测地质体的产生以及地质事件发生的准确时间,是研究地质演化历程的重要手段。普遍用于U-Th-Pb同位素定年的矿物——锆石。但由于阳储岭矿床环境存在高U现象,使锆石发生蜕晶化,原位U-Pb年龄散乱,与准确值存在较大差异(Li et al.,2013)。为避免锆石蜕晶化现象导致定年结果不准确,故采用其他常见的测年可用副矿物进行定年。独居石和金红石具有富Th、U和放射性Pb,而贫普通Pb的矿物结构特征,且绝大多数结晶后保持封闭状态,U-Th-Pb同位素不受后期构造作用干扰,并且不存在类似锆石蜕晶化的现象,故而是适合U-Pb同位素定年的矿物(Mezger
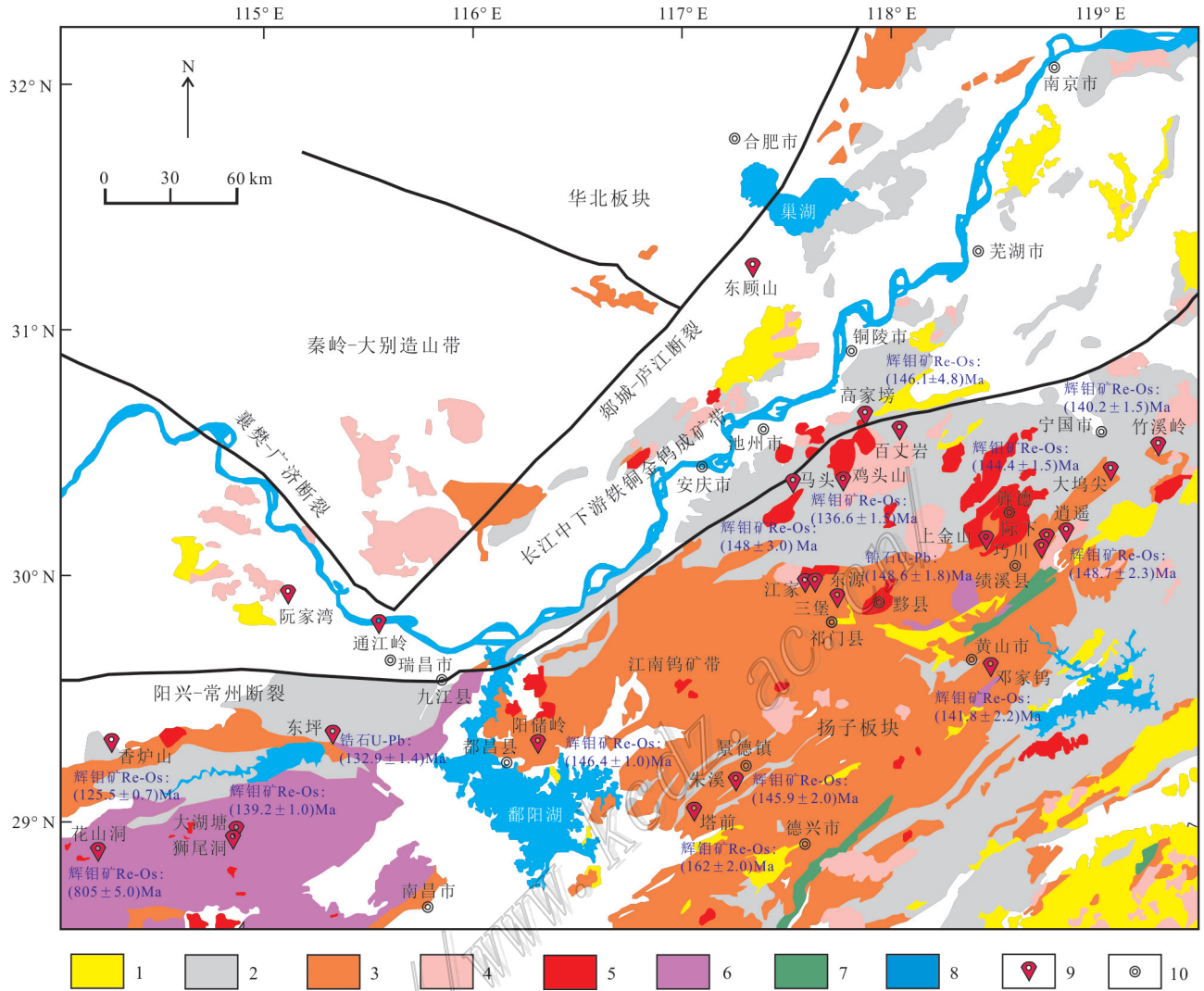
图 1　江南钨矿带地质与钨矿分布图（底图据毛景文等，2020修改，年龄数据详见表4）

1—中侏罗统至白垩系沉积岩和火山岩；2—寒武系至下三叠统层状海相碎屑岩和碳酸盐岩，中三叠统至上三叠统近海相碎屑岩；3—江南古陆：新元古代浅变质岩及沉积岩；4—白垩纪中酸性侵入体；5—侏罗纪中酸性侵入体；6—新元古代中酸性侵入体；7—新元古代蛇绿岩；8—河流湖泊；9—钨矿床；10—市/县

Fig.1　Regional geology of the Jiangnan Tungsten Ore Belt and distribution of tungsten ore deposits（base modified after Mao et al.,
2020; dating data sources are listed in Table 4）

1—Middle Jurassic to Cretaceous sedimentary rocks and volcanic rocks; 2—Cambrian to Lower Triassic stratified marine clastic rocks and carbonate
rocks, Middle Triassic to Upper Triassic offshore clastic rocks; 3—Jiangnan ancient land: Neoproterozoic metamorphic rocks and sedimentary rocks;
4—Cretaceous intermediate acid intrusive body; 5—Jurassic acidic intrusive body; 6—Neoproterozoic acidic intrusive body; 7—Neoproterozoic
ophiolite; 8—Rivers and lakes; 9—Tungsten deposit; 10—City/County

et al.，1989；Parrish，1990）。

　　本次研究在分析前人已开展工作及实验不足的基础上，选择阳储岭为典型矿床，对矿床主要赋矿围岩——二长花岗斑岩展开独居石和金红石的 LA-ICP-MS U-Pb 同位素年代学测试，以获得准确的年代学数据，进而探讨江南钨矿带岩浆活动与成矿作用的关系。

1　区域及矿床地质特征

1.1　区域地质特征

　　阳储岭钨钼矿床位于江南造山带中东部九岭-障公山隆起带内，地处九江市都昌县北东67°方向，直线距离约22 km。赣北地区属扬子陆块，以修水-

德安断裂为界,包含北西方向的长江中下游铁铜金钨成矿带和南东方向的江南造山带两个构造单元。隆起带内出露地层以新元古界双桥山群浅变质岩为主,为一套浅变质的泥砂质复理石建造,主要岩性为凝灰质板岩、千枚岩和浅变质粉砂岩(Shu et al.,2014;2015;舒良树等,2008;徐备等,1992)。区内经历了多次岩浆活动,以晋宁期、燕山期最为强烈。晋宁期形成九岭花岗岩基(段政等,2019;张福神等,2020),燕山期产出壳源重熔型及部分为壳幔重熔型酸性侵入岩,形成九岭-障公山花岗岩带,岩石类型有花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、二长花岗斑岩及花岗斑岩等。区内构造运动频发,其中,燕山期的强烈造山作用与钨锡金等金属成矿密切相关(毛景文等,2020)。断裂构造发育,主要为近北东东向、北东向和北西向,次为北北东向(图2)。

1.2 矿床地质特征

矿区内出露地层较为单一,除部分地区发育有第四系外,均为新元古界双桥山群,厚度为1289.3 m,走向近EW,倾角范围20°~90°,一般为50°~60°。岩性以板岩、千枚岩、粉砂岩为主。杂岩体主要由花岗闪长斑岩、二长花岗斑岩、花岗斑岩及花岗闪长岩组成,总出露面积约2.1 km²,斑岩体出露面积约0.3 km²。区内东西向断裂F1、北东向断裂F3、北北东向断裂F4分别控制杂岩体南部、北西部和东部的边界。依据岩性,杂岩体的侵入先后顺序为,二长花岗斑岩→花岗闪长斑岩→花岗斑岩→花岗闪长岩,另外在大岩体南侧还存在部分爆破角砾岩(李秉伦等,1985)(图2);花岗闪长岩是区内杂岩体的主体,占总出露面积的85%,二长花岗斑岩和花岗闪长斑岩为成矿母岩,分布于花岗闪长岩的东南侧(江西省地质矿产勘查开发局,2020)。花岗闪长斑岩呈脉状穿插二长花岗斑岩中,花岗斑岩呈脉状出露,穿插二长花岗斑岩体,并受到北北东向断裂F4的切穿。二长花岗斑岩呈灰白色,多斑少基,斑晶含量约占50%~
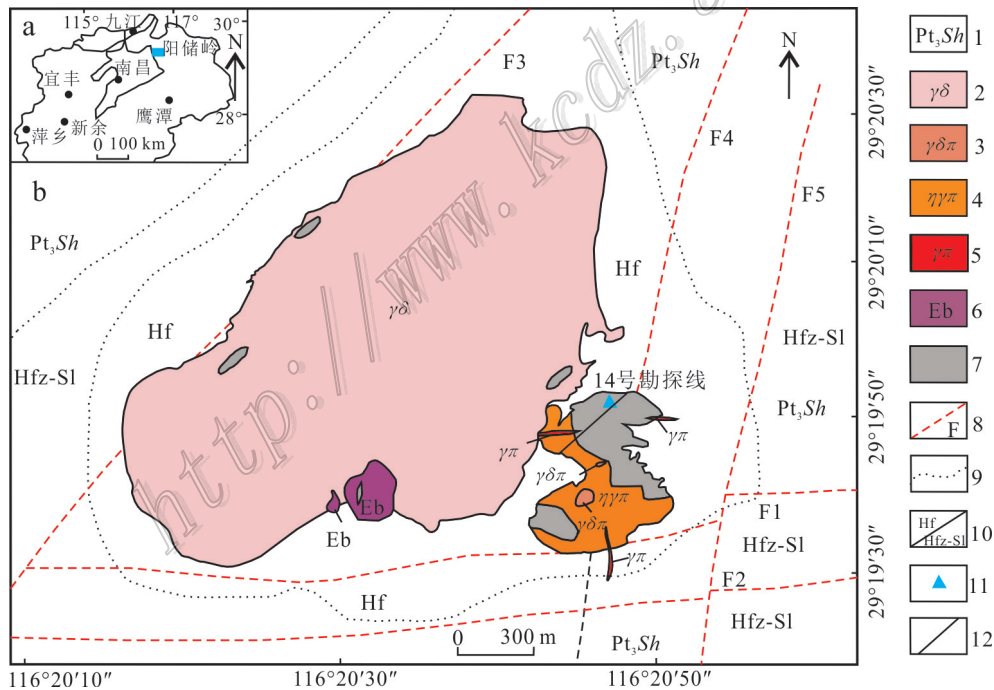

图 2 江西省阳储岭地理位置图(a)及阳储岭钨钼矿区地质略图(b)(江西省地质矿产勘查开发局,2020)

1—新元古界双桥山群;2—花岗闪长岩;3—花岗闪长斑岩;4—二长花岗斑岩;5—花岗斑岩;6—爆破角砾岩;7—矿体;8—断层;9—蚀变界线;
10—角岩(Hf)/角岩化板岩(Hfz-Sl);11—采样点位置;12—14号勘探线

Fig.2 Location (a) and geologic sketch map (b) of the Yangchuling tungsten and molybdenum mining area(after Jiangxi Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, 2020)

1—Neoproterozoic Shuangqiaoshan Group; 2—Granodiorite; 3—Granodiorite porphyry; 4—Monzogranite porphyry; 5—Granite Porphyry;
6—Explosive breccia; 7—Ore body; 8—Fault; 9—Alteration boundary; 10—Hornfels(Hf)/Hornfelsic slate(Hfz-Sl);
11—Sample location; 12—Exploration line 14

70%，大小 0.5~3.0 mm，具聚斑、碎斑结构；基质粒径 0.03~0.08 mm，呈显微粒状结构，主要由石英、钾长石及少量黑云母、斜长石组成。

矿区内主要矿体为白钨矿体，其次为辉钼矿体。矿化主要发育于二长花岗斑岩内，少量发育于花岗闪长岩和爆破角砾岩中。钨钼矿以脉状、网脉状、似层状、透镜状、星点状产出，上部矿化较下部更强。钨矿体相对钼矿体在空间上偏上分布，且二者有交叉重叠（图 3）。因矿体主要呈网脉状或星点状产于含矿斑岩体中，故区内钨钼矿体产状与含矿斑岩岩体产状都为近水平似层状，总体走向呈北西-南东向，南部近北东东向，产状为 43°~48° ∠5°~9°。矿石中主要含有白钨矿、辉钼矿 2 种具有工业意义金属矿物，其次还含有黄铁矿、磁黄铁矿、钛铁矿、磁铁矿等不具工业意义的金属矿物以及石英、钾长石、斜长石、方解石等非金属矿物（江西省地质矿产勘查开发局，2020）。白钨矿多呈他形粒状、浸染状产于斑岩石英脉中或其他矿物粒间，以星点状产出的颗粒较细，粒径在 0.1~0.5 mm；以他形粒状产出的颗粒较粗，常呈不规则团块状形态出现，粒径最大可达 15 mm。辉钼矿多呈浸染状、叶片状、鳞片状集合体产于石英脉中，粒径在 0.2~5.0 mm。矿石构造主要为致密块状、浸染状、脉状构造；矿石结构主要为交代结构。

截止 2018 年底，阳储岭矿区累计查明工业钨矿矿石资源储量矿石量 27 575 kt，钨金属量（WO₃）

54 910 t，WO₃平均品位 0.199%；共生钼矿矿石资源储量矿石量 23 793 kt，钼金属量（Mo）14 384 t，平均品位 0.06%（江西省地质矿产勘查开发局，2020）。

2　样品采集及测试方法

2.1　样品采集

本文研究的含独居石和金红石的二长花岗斑岩样品位于阳储岭杂岩体的南东部，采样坐标为 E116°20′44″；N29°19′52″（图 2）。二长花岗斑岩岩体切穿双桥山群浅变质岩（图 4a），花岗斑岩岩脉切穿二长花岗斑岩岩体（图 4b），符合杂岩体侵入的先后顺序。二长花岗斑岩是钨钼矿体的主要赋存部位，呈灰白色，具碎斑结构、块状构造（图 4c）。二长花岗斑岩斑晶含量约占 60%，包括斜长石（约 25%）、钾长石（约 15%），石英（约 15%），黑云母（约 5%），其中，斜长石斑晶以半自形板状为主，呈聚斑或碎斑分布，粒径 0.5~2.0 mm；钾长石斑晶以他形粒状为主，粒径 0.5~1.5 mm；石英斑晶多为六方双锥体，具裂纹和熔蚀港湾状，粒径 0.5~2.5 mm；黑云母斑晶呈自形板状，片径 0.5~1.5 mm；基质含量约占 40%，呈显微粒状结构，粒径 0.03~0.08 mm，主要由石英、钾长石及少量黑云母、斜长石组成（图 4e、f）。白钨矿呈星点状或团块状赋其中，在紫光灯下呈蓝色（图 4d）。
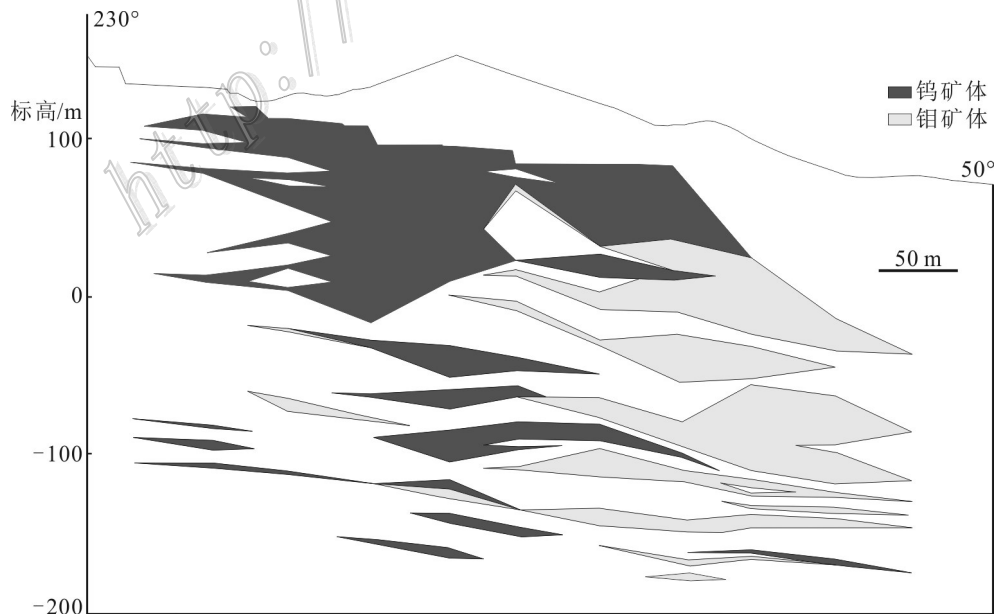
图 3　阳储岭钨钼矿床 14 号勘探线剖面示意图

Fig.3　Section of exploration line 14 through the Yangchuling tungsten molybdenum deposit
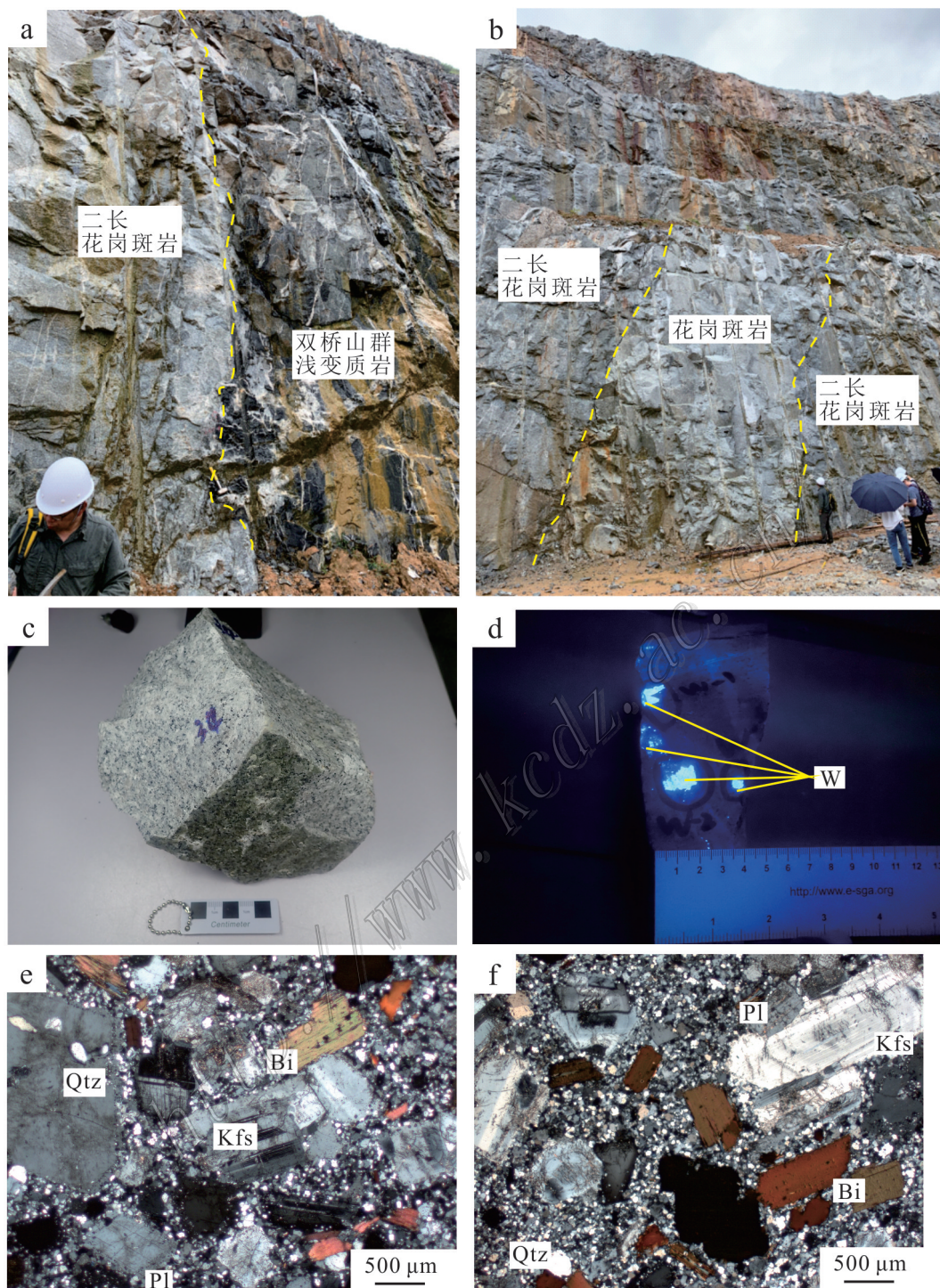
图 4 阳储岭钨钼矿床成矿斑岩体的野外及镜下照片

a.二长花岗斑岩岩体切穿双桥山群浅变质岩基底;b.花岗斑岩岩脉切穿二长花岗斑岩岩体;c.二长花岗斑岩手标本照片;d.典型的白钨矿
矿化标本照片(W);e、f.二长花岗斑岩显微照片

Qtz—石英;Bi—黑云母;Pl—钾长石;Kfs—斜长石

Fig.4 Field and microscope photos of the Yangchuling W-Mo deposit

a. The monzonite porphyry emplaced in the epi-metamorphic basement of the Shuangqiaoshan Group; b. The granite porphyry dikes cut through the
monzonite granite porphyry body; c. Photo of monzogranite porphyry specimen; d. Photo of a typical scheelite mineralized specimen(W);
e, f. Microscopic photos of monzogranite porphyry

Qtz—Quartz; Bi—Biotite; Pl—Plagioclase; Kfs—K-feldspar

2.2　测试方法

二长花岗斑岩（YCL34）（图 4c）内独居石和金红石的分选工作在南京大学完成。在双目显微镜下挑选晶形较好、无裂隙、无明显包裹体的独居石和金红石，制成环氧树脂靶，将样品靶进一步打磨抛光处理后，在透射光、反射光和扫描电镜（SEM）下观察，规避独居石和金红石中对矿物定年可能造成影响的裂隙、包裹体等部位，选取独居石（图 5a）和金红石（图 5b）中最佳的同位素定年位置。

独居石及金红石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素定年测试在南京聚谱检测科技有限公司完成。193 nm ArF 准分子激光剥蚀系统由 Australian Scientific Instruments 制造，型号为 RESOlution LR。四极杆型电感耦合等离子体质谱仪（ICP-MS）由安捷伦科技（Agilent Technologies）制造，型号为 Agilent 7700x。准分子激光发生器产生的深紫外光束经匀化光路聚焦于独居石表面，能量密度为 8.0 J/cm^2，束斑直径为 50 μm，频率为 7 Hz，共剥蚀 40 s，剥蚀气溶胶由氦气送入 ICP-MS 完成测试。独居石与金红石测试时，分别以 44069、91500 作为外标，校正仪器质量歧视与元素分馏；以 M4 和 Trebilcock（约 271 Ma）、金红石 JDX（（518±4）Ma）作为盲样，检验 U-Pb 定年数据质量（Li et al., 2011）。原始的测试数据经过 ICP-MSData Cal 软件离线处理完成（Liu et al., 2010a; 2010b）。

3　分析结果

3.1　独居石 U-Pb 同位素年代学

阳储岭斑岩型钨钼矿床二长花岗斑岩中独居石 LA-ICP-MS U-Pb 分析结果见表 1。二长花岗斑岩（YCL34）内独居石晶体为浅黄色或黄绿色、透明，主要呈自形到半自形细小板状。粒径为（40~60）μm×（60~120）μm。扫描电镜（SEM）图像显示，独居石成分含量比较均匀，部分颗粒存在较宽且平直的振荡环带。其中，部分样品颗粒直径小于束斑直径，剥蚀的过程中将所有样品及样品周围的胶共同烧蚀，胶的普通铅 ^{208}Pb 信号，相应的 ^{204}Pb 信号也很低，不足以对实验结果产生影响。这样说明获得的数据是准确的。

对 29 个独居石颗粒进行 U-Pb 同位素测年，^{206}Pb/^{238}U 年龄范围 142.7~151.8 Ma。w（Pb）为（349~1882）×10^{-6}，平均 1237×10^{-6}；w（普通 Pb）为（0~

3）×10^{-6}，平均 1×10^{-6}；w（Th）为（40 783~300 281）×10^{-6}，平均 190 274×10^{-6}；w（U）为（3415~10 722）×10^{-6}，平均 8251×10^{-6}。具有高 w（Th）、w（U）和低 w（普通 Pb）的特征。独居石 U-Pb 同位素一致年龄为（146.06±0.61）Ma（MSWD=10.2）（图 6a），^{206}Pb/^{238}U 加权平均年龄（145.98±0.63）Ma（MSWD=1.6）（图 6b）。

3.2　金红石 U-Pb 同位素年代学

二长花岗斑岩（YCL34）内金红石晶体为黄色或橘黄色、透明，主要呈自形到半自形细小板状，粒径为（80~160）μm×（120~400）μm。扫描电镜（SEM）图像显示独居石成分含量比较均匀。

对 22 个金红石颗粒进行 U-Pb 同位素测年，分析结果见表 2，^{206}Pb/^{238}U 的年龄范围 135.6~166.1 Ma。测试点数据作出的谐和年龄曲线散乱、谐和度低（图 7a）。为减小普通 Pb 对定年结果的影响，采用 Tera-Wasserburg 图解将测试结果不扣除普通 Pb 而直接投图（Tera et al., 1972）。w（Pb）为（0~1）×10^{-6}，平均 0.4×10^{-6}；w（Th）为（0~5）×10^{-6}，平均 0.5×10^{-6}；w（Pb）为（4~26）×10^{-6}，平均 17×10^{-6}。此结果相比独居石 Pb、Th、U 含量是很低的。测试样品点得出的 U-Pb 同位素下交点年龄为（152.4±4.1）Ma（MSWD=1.5）（图 7b），^{206}Pb/^{238}U 加权平均年龄为（150.20±2.60）Ma（MSWD=1.13）（图 7c）。

4　讨　论

4.1　阳储岭钨钼矿床成矿岩体年龄的精确厘定

矿床成岩成矿年龄的准确厘定是分析成矿地球动力学背景的前提。在阳储岭矿床中，二长花岗斑岩与花岗闪长岩都是成矿体，其中二长花岗斑岩与成矿关系最密切。前人针对阳储岭矿区花岗闪长岩、二长花岗斑岩和辉钼矿开展了全岩 Rb-Sr 法（李秉伦等，1985；满发胜等，1988）、全岩 K-Ar 法（迟实福等，1985；满发胜等，1988）、锆石 U-Pb 法（Mao et al., 2017；曾庆权等，2019）和辉钼矿 Re-Os 法（Mao et al., 2017；曾庆权等，2019）等定年工作（表 3）。

迟实福等（1985）利用全岩 K-Ar 法测得阳储岭二长花岗斑岩成岩年龄为 175~157 Ma，该年龄比 U-Pb 法定年结果偏老，可能是体系中存在"过剩 Ar"（Norbert, 2013; Norbert et al., 2014）。满发胜等（1988）利用全岩 K-Ar 法测得花岗闪长岩成岩年龄为（134.0±4.7）Ma，该年龄比 U-Pb 法定年结果偏年轻，可能是 K-Ar 体系封闭温度低，受到后期热事件
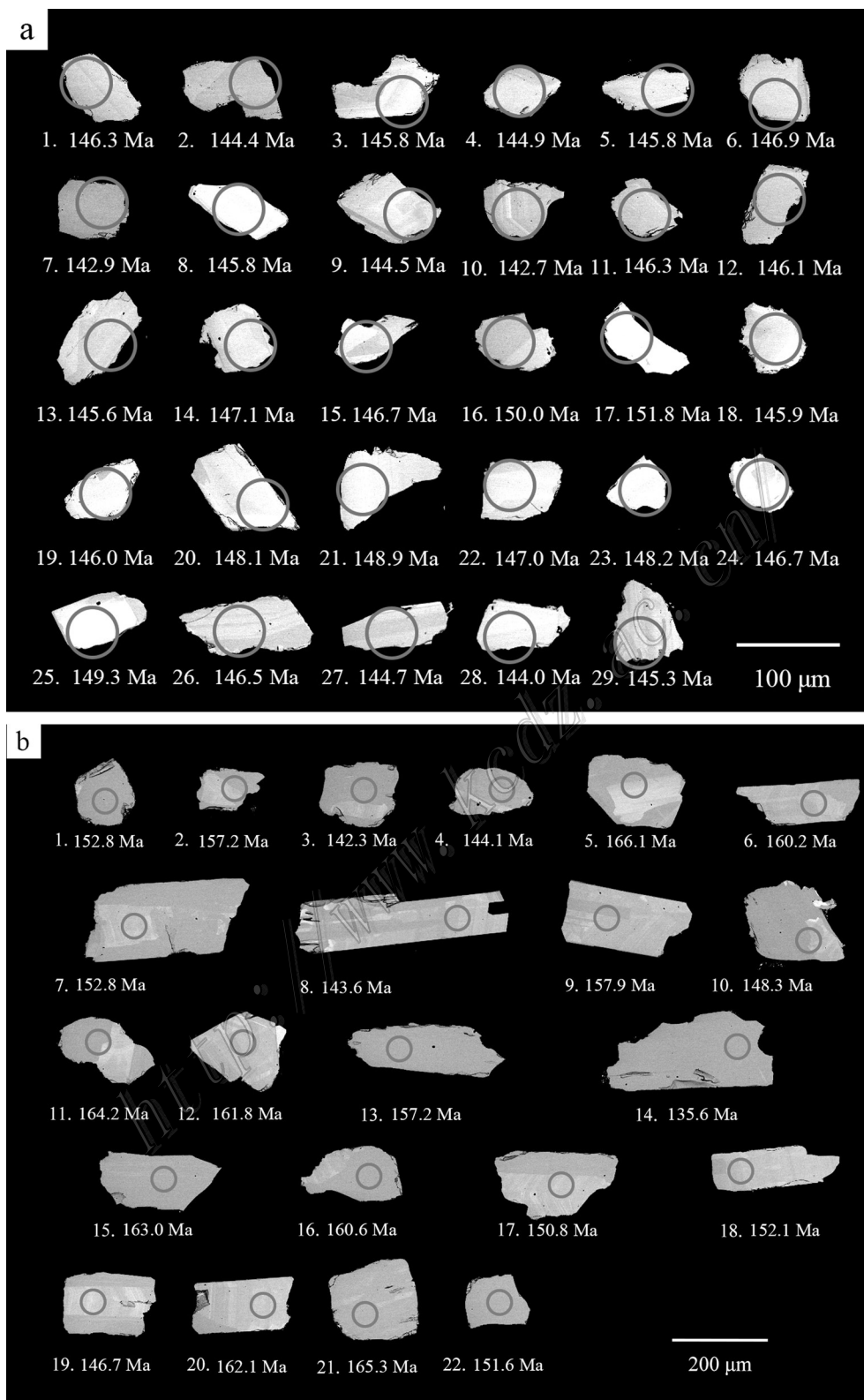
图5　阳储岭二长花岗斑岩(YCL34)内独居石和金红石SEM图

a.独居石SEM图；b.金红石SEM图

Fig.5　SEM images of monazite and rutile in Yangchuling granite porphyry (YCL34)

a. Monazite SEM image; b. Rutile SEM image

表1　二长花岗斑岩样品YCL34独居石LA-ICP-MS U-Pb同位素分析数据

Table 1　LA-ICP-MS U-Pb isotope analysis data of monazite in monzogranite porphyry (YCL34)

测点	w(B)/10⁻⁶				同位素比值						同位素年龄/Ma					
	Pb	Th	U	Pb(普通Pb)	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ
1	1019	145756	9389	1	0.0496	0.0005	0.1545	0.0022	0.0230	0.0002	176.0	15.7	145.9	1.9	146.3	1.3
2	811	113963	8294	2	0.0505	0.0005	0.1550	0.0021	0.0227	0.0002	216.7	22.2	146.3	1.9	144.4	1.2
3	1238	184652	8771	1	0.0492	0.0004	0.1532	0.0022	0.0229	0.0002	166.8	−5.6	144.7	2.0	145.8	1.2
4	1375	213440	8393	2	0.0510	0.0004	0.1578	0.0023	0.0227	0.0002	242.7	13.9	148.7	2.0	144.9	1.2
5	1270	193586	8627	2	0.0498	0.0005	0.1545	0.0022	0.0229	0.0002	183.4	22.2	145.9	2.0	145.8	1.3
6	1421	223933	7233	1	0.0500	0.0005	0.1562	0.0022	0.0230	0.0002	194.5	20.4	147.4	1.9	146.9	1.2
7	349	40783	6190	1	0.0499	0.0005	0.1520	0.0023	0.0224	0.0002	190.8	22.2	143.7	2.0	142.9	1.3
8	1426	221940	8869	1	0.0500	0.0004	0.1554	0.0022	0.0229	0.0002	194.5	18.5	146.7	1.9	145.8	1.2
9	1256	190654	9186	2	0.0496	0.0004	0.1526	0.0022	0.0227	0.0002	176.0	20.4	144.2	1.9	144.5	1.3
10	719	109910	5695	1	0.0498	0.0006	0.1515	0.0024	0.0224	0.0002	187.1	25.9	143.2	2.1	142.7	1.2
11	1132	169202	8962	2	0.0501	0.0006	0.1552	0.0024	0.0230	0.0003	211.2	27.8	146.5	2.1	146.3	2.1
12	1163	182236	7045	2	0.0499	0.0005	0.1552	0.0022	0.0229	0.0002	190.8	22.2	146.5	2.0	146.1	1.3
13	1075	162067	8223	3	0.0497	0.0005	0.1538	0.0021	0.0228	0.0002	189.0	15.7	145.3	1.8	145.6	1.2
14	1481	228480	9753	1	0.0497	0.0004	0.1557	0.0022	0.0231	0.0002	189.0	18.5	146.9	1.9	147.1	1.3
15	1461	223849	9915	0	0.0501	0.0005	0.1564	0.0022	0.0230	0.0002	198.2	22.2	147.5	1.9	146.7	1.2
16	896	136035	6498	1	0.0513	0.0005	0.1639	0.0026	0.0235	0.0002	253.8	22.2	154.1	2.2	150.0	1.5
17	1003	147607	7193	1	0.0515	0.0005	0.1664	0.0023	0.0238	0.0002	261.5	20.4	156.3	2.0	151.8	1.3
18	1379	215967	8432	3	0.0499	0.0005	0.1552	0.0023	0.0229	0.0002	190.8	22.2	146.5	2.0	145.9	1.3
19	1626	256450	9540	2	0.0498	0.0004	0.1546	0.0022	0.0229	0.0002	183.4	20.4	146.0	1.9	146.0	1.3
20	1445	227558	7731	1	0.0511	0.0005	0.1607	0.0022	0.0232	0.0002	242.7	22.2	151.3	2.0	148.1	1.4
21	1642	262281	7795	1	0.0505	0.0005	0.1603	0.0023	0.0234	0.0002	220.4	20.4	151.0	2.0	148.9	1.3
22	1582	243251	10722	1	0.0506	0.0004	0.1584	0.0021	0.0231	0.0002	220.4	13.9	149.3	1.9	147.0	1.2
23	1466	227263	9351	2	0.0500	0.0004	0.1579	0.0023	0.0233	0.0002	194.5	20.4	148.8	2.0	148.2	1.3
24	1882	300281	8855	1	0.0500	0.0004	0.1563	0.0022	0.0230	0.0002	194.5	20.4	147.4	1.9	146.7	1.2
25	1419	218954	8580	2	0.0511	0.0005	0.1625	0.0022	0.0234	0.0002	255.6	15.7	152.9	2.0	149.3	1.2
26	773	112938	7116	1	0.0499	0.0005	0.1556	0.0023	0.0230	0.0002	187.1	22.2	146.7	2.0	146.5	1.3
27	576	91739	3415	1	0.0514	0.0006	0.1585	0.0026	0.0227	0.0002	257.5	25.9	149.4	2.3	144.7	1.2
28	1617	256051	9491	1	0.0506	0.0005	0.1553	0.0021	0.0226	0.0002	233.2	15.7	146.6	1.9	144.0	1.2
29	808	120223	7214	0	0.0503	0.0005	0.1561	0.0023	0.0228	0.0002	209.3	20.4	147.3	2.1	145.3	1.3

影响。类似的,李秉伦等(1985)和满发胜等(1988)开展了全岩Rb-Sr法成岩年代学研究,获得的年龄结果都偏年轻,为142.7~137.0 Ma,可能是由于全岩Rb-Sr体系受到后期热事件不同程度的影响。

近年来,Mao等(2017)利用锆石U-Pb法测得阳储岭花岗闪长岩和二长花岗斑岩成岩年龄分别为(149.8±0.6)Ma和(143.8±0.5)Ma;曾庆权等(2019)获得花岗闪长岩锆石U-Pb年龄为(145.08±0.35)Ma。此外,Mao等(2017)和曾庆权等(2019)针对阳储岭矿床辉钼矿开展Re-Os法成矿年代分析,获得一致的成矿年龄为(146.4±1.0)Ma和(145.4±1.0)Ma。总体上,锆石U-Pb年代学年龄比全岩K-Ar和

全岩Rb-Sr法更为精确。本次研究获得的独居石U-Pb年龄为(146.06±0.61)Ma,在误差范围内与辉钼矿Re-Os年代学数据(约146 Ma)一致。这些说明,独居石可作为高分异钨锡成矿花岗岩定年的理想矿物。

一般而言,中酸性岩石中岩浆成因锆石是理想的U-Pb法定年对象(Liati et al.,2002;Tomaschek et al.,2003;Wilde et al.,2001)。但对于钨锡矿相关的较高分异程度的成矿斑岩体往往具有较高的$w(U)$(>2000 μg/g),赋存的锆石高U,往往发生"蜕晶化"现象,导致U-Pb体系不再封闭,年龄出现较大误差(Li et al.,2013;叶海敏等,2016),如Wang等(2014)在南岭多处燕山期钨锡矿花岗岩中识别出高$w(U)$
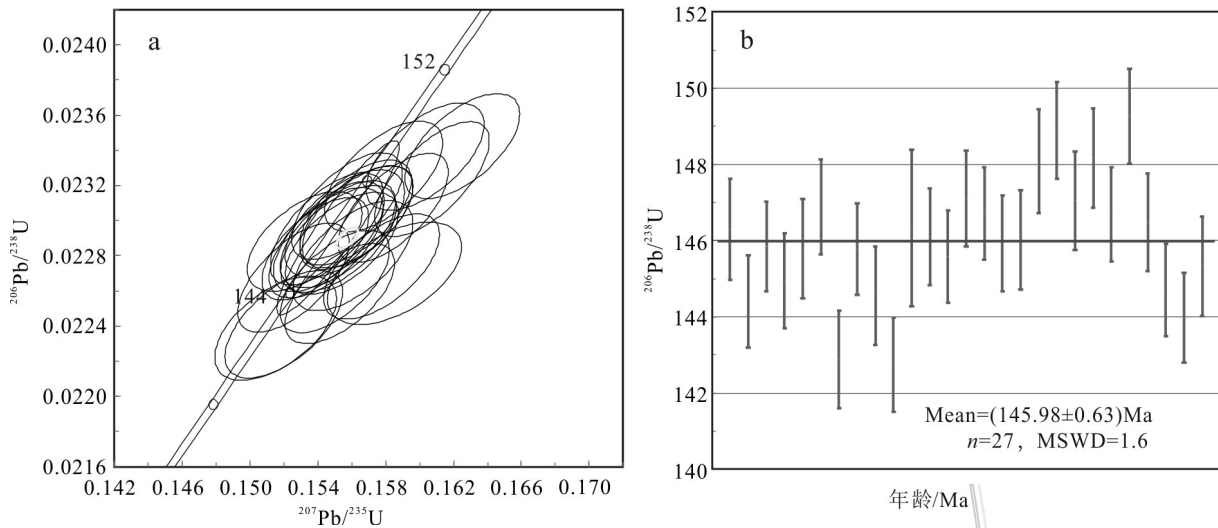
图 6　阳储岭二长花岗斑岩 YCL34 独居石 U-Pb 同位素谐和年龄图及加权平均年龄图

a. 独居石 U-Pb 同位素谐和年龄图；b. 独居石 U-Pb 同位素加权平均年龄图

Fig.6　U-Pb isotopic age map and weighted average age map of YCL34 monazite granite porphyry in Yangchuling

a. Monazite U-Pb isotope harmonic age；b. Monazite U-Pb isotopic weighted average age

表 2　二长花岗斑岩样品 YCL34 金红石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素分析数据

Table 2　LA-ICP-MS U-Pb isotope analysis data of rutile in monzogranite porphyry (YCL34)

| 测点	$w(B)/10^{-6}$			同位素比值						同位素年龄/Ma					
	Pb	Th	U	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ
1	1	0	25	0.0605	1.0605	2.0605	3.0605	4.0605	5.0605	621.9	233.3	176.2	16.6	152.8	4.8
2	1	0	21	0.0696	1.0696	2.0696	3.0696	4.0696	5.0696	916.7	285.6	187.4	19.2	157.2	4.6
3	0	1	20	0.0976	1.0976	2.0976	3.0976	4.0976	5.0976	1588.9	390.3	180.9	16.9	142.3	4.9
4	1	0	26	0.0624	1.0624	2.0624	3.0624	4.0624	5.0624	687.1	287.0	151.0	15.7	144.1	5.0
5	0	0	6	0.1100	1.1100	2.1100	3.1100	4.1100	5.1100	1799.1	367.3	267.4	36.5	166.1	10.1
6	0	0	15	0.0730	1.0730	2.0730	3.0730	4.0730	5.0730	1013.0	374.5	175.5	25.5	160.2	5.9
7	0	0	15	0.0653	1.0653	2.0653	3.0653	4.0653	5.0653	783.3	419.4	154.0	21.0	152.8	6.0
8	0	0	13	0.0889	1.0889	2.0889	3.0889	4.0889	5.0889	1411.1	290.7	208.5	22.9	143.6	6.1
9	1	0	24	0.0825	0.0087	0.2481	0.0213	0.0248	0.0008	1257.4	206.9	225.1	17.3	157.9	4.8
10	0	0	20	0.0906	0.0191	0.2176	0.0316	0.0233	0.0008	1438.9	411.6	199.9	26.4	148.3	5.2
11	1	0	20	0.0615	0.0075	0.1696	0.0197	0.0258	0.0008	657.4	264.8	159.1	17.1	164.2	5.3
12	0	0	6	0.1357	0.0302	0.3435	0.0569	0.0254	0.0013	2173.2	396.5	299.8	43.0	161.8	7.9
13	0	5	14	0.0837	0.0105	0.2354	0.0219	0.0247	0.0009	1287.0	246.8	214.6	18.0	157.2	5.6
14	0	0	19	0.0868	0.0240	0.1699	0.0213	0.0213	0.0008	1366.7	555.7	159.3	18.4	135.6	4.7
15	1	1	19	0.0648	0.0082	0.1953	0.0250	0.0256	0.0011	768.5	269.0	181.2	21.2	163.0	6.7
16	0	0	15	0.0878	0.0180	0.2109	0.0227	0.0252	0.0009	1388.9	401.7	194.3	19.0	160.6	5.9
17	1	0	21	0.0718	0.0101	0.1905	0.0214	0.0237	0.0008	988.9	288.9	177.1	18.2	150.8	4.8
18	0	0	9	0.0937	0.0198	0.2250	0.0362	0.0239	0.0012	1502.8	407.4	206.0	30.0	152.1	7.9
19	1	0	23	0.0704	0.0085	0.1940	0.0180	0.0230	0.0008	938.9	218.4	180.0	15.3	146.7	5.1
20	0	1	4	0.0658	0.0164	0.3150	0.0903	0.0255	0.0016	1200.0	543.0	278.0	69.7	162.1	10.0
21	0	1	11	0.1029	0.0174	0.2608	0.0354	0.0260	0.0012	1677.5	316.7	235.3	28.5	165.3	7.4
22	0	0	17	0.0962	0.0174	0.2100	0.0244	0.0238	0.0010	1551.6	346.3	193.6	20.5	151.6	6.1
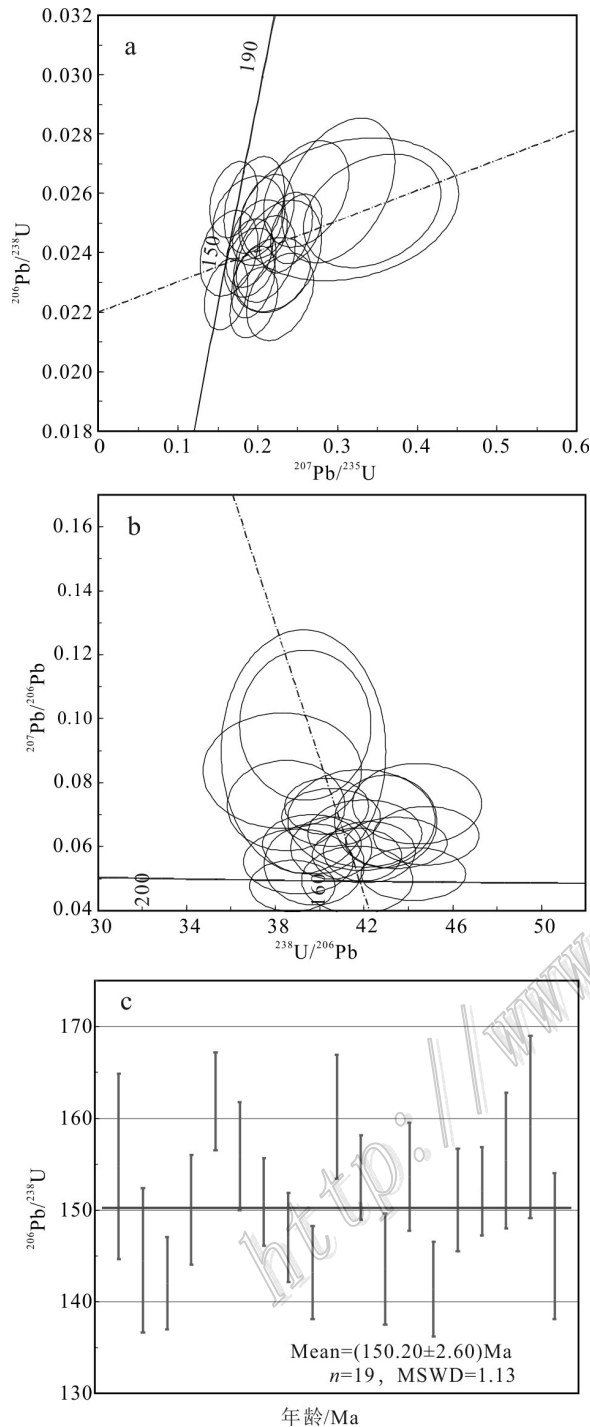
图7　阳储岭二长花岗斑岩 YCL34 金红石 U-Pb 同位素谐和
年龄图、下交点年龄图及加权平均年龄图

a.金红石 U-Pb 同位素谐和年龄图;b.金红石 U-Pb 同位素下交点年
龄图;c.金红石 U-Pb 同位素加权平均年龄图

Fig.7　YCL34 rutile U-Pb isotopic age map, bottom node age
map, and weighted average age map of YCL34 rutile granite
porphyry in Yangchuling

a. Rutile U-Pb isotopic harmonic age map; b. Age of the lower node of
rutile U-Pb isotopes; c. Weighted average age of rutile U-Pb isotopes

锆石,其 $w(U)$ 为 2100~30000 μg/g, $w(Th)$ 为 900~6500 μg/g。U-Pb 测年结果表现出锆石数据分散、误差大的特征。此外,钟玉芳等(2005)和黄兰椿等(2012;2013)对大湖塘矿区的花岗岩锆石研究表明,该矿区的锆石也属于高 U 锆石,利用锆石 U-Pb 法会对定年的准确造成极大影响。曾庆权等(2019)对阳储岭矿床进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年,实验选取 7 个测点的 $w(U)$ 为 408~2519 μg/g,其中,1 号点的 $w(U)$ 为 2519 μg/g,4 号点的 $w(U)$ 为 1997 μg/g,7 号点的 $w(U)$ 为 2265 μg/g,存在高 U 现象,故锆石样品可能发生蜕晶化,对测年准确性造成影响。因此,阳储岭成矿斑岩体的锆石 U-Pb 定年结果的准确性存疑。

对于钨锡矿相关斑岩体,开展独居石和金红石等副矿物 U-Pb 定年是潜在的可靠分析方法。独居石是一种中酸性岩浆岩中常见的富含轻稀土的磷酸盐矿物,具有吸收 U 和 Th 的能力,U 和 Th 的掺入通过 2 种置换方式被容纳在 REE 位(Harrison et al.,2002)。前人研究表明,独居石 U-Pb 体系封闭温度高,Suzuki 等(1994)、Spear 等(1996)和 Kalt 等(2000)提出封闭温度在 700℃以上。而且独居石在高 U 条件下不发生蜕晶化现象,比锆石 U-Pb 年龄更为可靠。本次研究获得的独居石 U-Pb 年龄为(146.06±0.61)Ma,在误差范围内与辉钼矿 Re-Os 年代学数据(约 146 Ma)高度一致。说明,独居石是开展高分异钨锡成矿花岗岩的理想定年方法。

金红石常见于变质岩和某些火成岩中。由于离子半径在达到 1.0 Å 左右时,M^{5+}、M^{4+} 和 M^{3+} 离子容易被广泛取代,故金红石应当包含一定量的 U。本文开展的成矿斑岩体内金红石 U-Pb 定年,测试点在传统谐和年龄图的谐和度较低(图7a),在 Tera-Wasserburg 图解(图7b)中,数据主要集中在下交点,准确度不高,为(150.20±2.60)Ma。阳储岭钨矿中,金红石中 U 含量显著低于独居石,定年精度也低于独居石。

高分异的花岗岩中产出的锆石 U 含量高,不仅表现为偏老的"高 U 效应",还受损伤导致 Pb 的丢失,LA-ICP-MS 等测试结果存在较大的不确定性,一般不适宜作为 U-Pb 定年对象。本文采用金红石和独居石来对成矿岩体进行定年,为高分异花岗岩定年提供了新的思路。

4.2　江南巨型钨矿带的成岩成矿时代和形成背景

江南钨矿带指的是位于江南古陆及其邻区的一

表3 前人及本次对阳储岭矿床年代学研究统计表

Table 3 Statistics of geochronological data from previous studies and this paper for the Yangchuling deposit

序号	定年方法	定年结果	针对样品	资料来源	备注
1	Rb-Sr	(140.5±0.6)Ma	花岗闪长岩	满发胜等, 1988	成岩年龄
	Rb-Sr	(138.4±0.4)Ma	二长花岗斑岩		成岩年龄
	K-Ar	(134.0±4.7)Ma	花岗闪长岩		成岩年龄
2	K-Ar	175~157 Ma	二长花岗斑岩	迟实福等, 1985	成岩年龄
3	Rb-Sr	142.7 Ma	花岗闪长岩	李秉伦等, 1985	成岩年龄
	Rb-Sr	139.3 Ma	二长花岗斑岩		成岩年龄
4	U-Pb(锆石)	(145.08±0.35)Ma	花岗闪长岩	曾庆权等, 2019	成岩年龄
	Re-Os	(145.4±1.0)Ma	辉钼矿		成矿年龄
5	U-Pb(锆石)	(143.8±0.5)Ma	二长花岗斑岩	Mao et al., 2017	成岩年龄
	U-Pb(锆石)	(149.8±0.6)Ma	花岗闪长岩		成岩年龄
	Re-Os	(146.4±1.0)Ma	辉钼矿		成矿年龄
6	U-Pb(独居石)	(146.06±0.61)Ma	二长花岗斑岩	本次研究	成岩年龄
	U-Pb(金红石)	(150.20±2.60)Ma	二长花岗斑岩		成岩年龄

系列矽卡岩型、斑岩型、石英脉型白钨矿及黑钨矿床所构成的一个与长江中下游斑岩-矽卡岩铜多金属矿带相平行的钨矿带(图1)(毛景文等, 2020), 走向自西向东由东西向北东东向转变。江南钨矿带有包括表3在内前人展开年代学研究的矿床16处, 以及未展开研究的安徽江家、安徽上金山、安徽三堡、安徽巧川、安徽际下5处, 共计21处钨矿, 涵盖了包括江西大湖塘、江西朱溪、江西阳储岭等在内的多处大型钨矿, 已知数据的钨资源总储量达5406.77千t(表4)。

根据前人对江南钨矿带钨矿床展开的成岩成矿年代学研究成果, 可将区内16处钨矿的成岩成矿年龄分为新元古代和燕山期。江西花山洞石英脉型钨矿床形成于新元古代, 成岩成矿年龄为约805 Ma(罗刚等, 2016; 刘进先等, 2015)。区内主要钨矿化形成于燕山期, 具体可细分为中侏罗世((162±2)Ma)、晚侏罗世(150~135 Ma)和早白垩世(135~125 Ma)3个阶段。中侏罗世成矿作用较弱, 仅发现江西塔前斑岩型和矽卡岩型钨矿床, 形成时代为约162 Ma(黄安杰等, 2013)。

晚侏罗世是最重要的成矿时代, 形成了安徽逍遥矽卡岩型钨矿床, 形成时代为约148.7 Ma(Su et al., 2018); 安徽东源斑岩型钨矿床, 形成时代为约148.6 Ma(秦燕等, 2010b); 安徽马头斑岩型钨矿床, 形成时代约148 Ma(赵超等, 2015); 江西朱溪矽卡岩型钨矿床, 形成时代为约145.9 Ma(Pan et al., 2017); 江西阳储岭斑岩型钨矿床, 形成时代为约146.4 Ma(Mao et al., 2017); 安徽高家榜矽卡岩型钨

矿床, 形成时代为146.1 Ma(肖鑫等, 2017); 安徽大钨尖矽卡岩型钨矿床, 形成时代为144.4 Ma(李斌等, 2015); 安徽邓家坞石英脉型钨矿床, 形成时代为141.8 Ma(李双等, 2012); 安徽竹溪岭矽卡岩型钨矿床, 形成时代为140.2 Ma(孔志岗等, 2018); 江西大湖塘斑岩型钨矿床, 形成时代为139.2 Ma(Mao et al., 2013); 安徽鸡头山矽卡岩型钨矿床, 形成时代为136.6 Ma(Song et al., 2012); 安徽百丈岩矽卡岩型和云英岩型钨矿床, 形成时代为136.3 Ma(秦燕等, 2010a)。

早白垩世成矿作用也可以形成重要的矿床, 包括江西东坪石英脉型钨矿床, 形成时代为约132.9 Ma(杨细浩等, 2019)和江西香炉山矽卡岩型钨矿床, 形成时代为约121 Ma(Dai et al., 2018)。

根据矿床年代数据的分布可知, 燕山期为江南钨矿带的主要成矿期, 且燕山期3个阶段中第二阶段是成矿最为密集是时间段, 阳储岭斑岩型钨钼矿床即属于第二成矿阶段。150~135 Ma不仅是成矿数量最多的时段, 也是成矿储量最大的时段, 第二阶段的矿床储量占整个江南钨矿带成矿总储量的91.61%。而第一阶段和第二阶段的储量仅占0.62%和0.77%。

江南钨矿带所涉及的赣北-皖南地区位处扬子地块边缘, 南侧以江绍断裂带(钦杭新元古代缝合带)为边界, 与华夏地块拼贴。扬子地块与华夏地块于新元古代晋宁期经历俯冲、碰撞作用, 成为一个联合统一的大陆(Zheng et al., 2008; Zhao et al., 2015; 王国光等, 2019)。后又经历了加里东期(奥

表4　江南巨型钨矿带成岩成矿时代统计表

Table 4　Statistics of rock-forming and mineralization ages of the Jiangnan giant tungsten ore belt

序号	矿床名称	矿床类型	成岩年龄	成矿年龄	钨储量/t	钨品位/%	资料来源
1	江西花山洞	石英脉型	花岗岩锆石U-Pb年龄(807±8)Ma	辉钼矿Re-Os(805±5.0)Ma	—	—	罗刚等,2016;刘进先等,2015
2	江西塔前	斑岩型和矽卡岩型	花岗闪长斑岩锆石U-Pb年龄(159.7±1.8)Ma、(160.9±2.5)Ma	辉钼矿Re-Os(162±2.0)Ma	3.36万	—	刘善宝等,2014;胡正华等,2015;黄安杰等,2013
3	安徽逍遥	矽卡岩型	花岗闪长岩锆石U-Pb年龄(149.4±1.1)Ma、花岗斑岩锆石U-Pb年龄(133.2±0.7)Ma	辉钼矿Re-Os(148.7±2.3)Ma	7万	0.20	Su et al.,2018
4	安徽东源	斑岩型	花岗斑岩锆石U-Pb年龄(148.6±1.8)Ma	—	14万	0.12	秦燕等,2010b
5	安徽马头	斑岩型	花岗闪长(斑)岩锆石U-Pb年龄144.5~145.8 Ma;钾长花岗岩锆石U-Pb年龄141.5 Ma	辉钼矿Re-Os(148±3)Ma	—	—	赵超等,2015
6	江西朱溪	矽卡岩型	黑云母花岗岩全岩Rb-Sr年龄(126±2.6)Ma	辉钼矿Re-Os和白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar(145.9±2.0)Ma~(150.6±1.5)Ma;白钨矿Sm-Nd(144±5.0)Ma	344万	0.50	陈国华等,2015;Pan et al.,2017;刘善宝等,2017
7	江西阳储岭	斑岩型	花岗闪长岩体锆石U-Pb年龄(149.8±0.6)Ma;二长花岗斑岩体锆石U-Pb年龄(143.8±0.5)Ma;二长花岗斑岩独居石U-Pb年龄(146.06±0.61)Ma;二长花岗斑岩金红石U-Pb年龄(152.4±4.1)Ma	辉钼矿Re-Os(146.4±1.0)Ma	5.5万	0.20	Mao et al.,2017
8	安徽高家塝	矽卡岩型	石英闪长斑岩锆石U-Pb年龄(144.9±1.2)Ma	辉钼矿Re-Os(146.1±4.8)Ma	6万	0.42	肖鑫等,2017
9	安徽大坞尖	矽卡岩型	花岗闪长岩脉锆石U-Pb年龄(148.3±2.2)Ma、(148.5±2.1)Ma	辉钼矿Re-Os(144.4±1.5)Ma	0.8万	0.21	陈雪霏等,2013;李斌等,2015
10	安徽邓家坞	石英脉型	—	辉钼矿Re-Os(141.8±2.2)Ma	—	—	李双等,2012
11	安徽竹溪岭	矽卡岩型	花岗岩锆石U-Pb年龄(140.5±2)Ma	辉钼矿Re-Os(140.2±1.5)Ma	9万	0.42	秦燕等,2010a;孔志岗等,2018
12	江西大湖塘	石英脉型、细脉型和接触交代型	似斑状黑云母花岗岩锆石U-Pb年龄(144.2±1.3)Ma;细粒黑云母花岗岩锆石U-Pb年龄(130.3±1.1)Ma;花岗斑岩锆石U-Pb年龄(142.0~146.01)Ma	辉钼矿Re-Os(139.2±1.0)Ma	107万	0.15	Mao et al.,2013
13	安徽鸡头山	矽卡岩型	花岗闪长斑岩锆石U-Pb年龄(138.8±1.0)Ma;花岗斑岩锆石U-Pb年龄(138.3±1.2)Ma	辉钼矿Re-Os(136.6±1.5)Ma	0.017万	0.10	Song et al.,2012
14	安徽百丈岩	矽卡岩型和云英岩型	细粒花岗岩体锆石U-Pb年龄(135.3±0.9)Ma	辉钼矿Re-Os(136.3±2.6)Ma	2万	—	Li et al.,2015;秦燕等,2010a
15	江西东坪	石英脉型	黑云母二长花岗岩锆石U-Pb年龄(132.9±1.4)Ma	—	20万	0.45	杨细浩等,2019
16	江西香炉山	矽卡岩型	黑云母花岗岩锆石U-Pb年龄(127.2±0.7)Ma	辉钼矿Re-Os(125.5±0.7)Ma;白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar(122.8±0.78)Ma;白钨矿Sm-Nd(121±11.0)Ma	22万	0.64	Zhao et al.,2017;Dai et al.,2018

陶纪—志留纪)、海西期—印支期(三叠纪)、燕山期(侏罗纪—白垩纪)3 个构造旋回(Gilder et al., 1991)。其中以燕山期构造运动最为强烈,也是与江南钨矿带成矿关联性最强的时期。

新元古代,扬子地块和华夏地块间的洋盆开始向扬子地块俯冲,随后发生的扬子地块与华夏地块的碰撞拼贴联合成了统一的华南大陆(倪培等,2017)。在晋宁期造山运动的晚阶段,发生了陆内伸展,形成了江西花山洞矿床((805±8)Ma)。晚中生代,随着古特提斯洋的关闭,古太平洋板块的俯冲作用开始成为主导。燕山期中侏罗世开始,古太平洋板块开始向扬子地块和华夏地块拼接成的华南大陆俯冲(Isozaki,1997;Wang et al.,2016),使中国东部成为活动大陆边缘(Maruyama et al.,1997)。江西-塔前矿床对应于古太平洋板块初始俯冲到华南大陆边缘引起的板内局部伸展,与邻近的德兴铜矿和银山铜金铅锌矿矿形成背景相似(Wang et al.,2012;2015;2020)。燕山期晚侏罗世(150~135 Ma)古太平洋板块俯冲角度变缓(徐先兵等,2009;张岳桥等,2009),在浙闽沿海形成大面积的弧火山岩(Wang et al.,2016),江南钨矿带处于弧后环境,此阶段是江南钨矿带岩浆活动的高峰期,与长江中下游斑岩-矽卡岩型铜金成矿背景一致(毛景文等,2004;2009;周涛发等,2000;2017;2019),安徽-逍遥、江西-朱溪、江西-阳储岭等多处矿床于此阶段形成。燕山期早白垩世(K_1)(135~125 Ma)时,古太平洋板块俯冲板片可能发生后撤和转向,俯冲角度变大,在江南过渡带及邻区形成大面积的 A 型花岗岩、双峰式火山岩等。该阶段形成长江中下游大规模玢岩铁矿(毛景文等,2012;张明明等,2011),江西-东坪、江西-香炉山矿床形成于此阶段。

5　结　论

(1)阳储岭斑岩型钨钼矿床二长花岗斑岩含高 U 锆石,影响锆石 U-Pb 定年的准确性,利用岩体中的副矿物可能得出更精确的成矿年龄。其中,独居石和金红石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测年结果分别为(146.06±0.61)Ma 和(150.20±2.6)Ma,两者相比较独居石的定年结果更准确,是约束高 U 成钨花岗岩形成年代的有力工具。

(2)燕山期是江南钨成矿带最重要的成矿期,可分为 3 个阶段:中侏罗世钨成矿作用(约 162 Ma)形成于古太平洋板块初始俯冲引起的陆内局部伸展

背景;晚侏罗世—早白垩世早期钨成矿作用(150~135 Ma)对应于广泛的古太平洋板块俯冲作用的弧后背景;早白垩世晚期(135~125 Ma)钨成矿作用对应于古太平洋俯冲板片发生后撤和转向的强烈伸展背景。阳储岭斑岩型钨钼矿床属于第二成矿阶段。

References

Chen G H, Shu L S, Shu L M, Zhang C and Ouyang Y P. 2015. Geological characteristics and mineralization setting of the Zhuxi tungsten (copper) polymetallic deposit in the eastern Jiangnan orogen[J]. Scientia Sinica(Terrae), 45(12): 1799-1818+1-6(in Chinese).

Chen X F, Wang Y G, Sun D W and Yang X Y. 2013. Zircon U-Pb chronology, geochemistry and genesis of the Zhuxiling granite in Ningguo, southern Anhui[J]. Acta Geologica Sinica, 87(11): 1662-1678(in Chinese).

Chi S F and Ji J S. 1985. Ore-bearing porphyry and mineralization characteristics of the Yangchuling porphyry tungsten-molybdenum deposit[J]. Journal of Changchun University of Earth Science, (1): 37-58(in Chinese).

Dai P, Mao J W, Wu S H, Xie G Q and Luo X H. 2018. Multiple dating and tectonic setting of the Early Cretaceous Xianglushan W deposit, Jiangxi Province, South China[J]. Ore Geology Reviews, 95: 1161-1178.

Duan Z, Liao S B, Chu P L, Huang W C, Zhu Y H, Shu X J and Li C B. 2019. Zircon U-Pb ages of the neoproterozoic Jiuling complex granitoid in the eastern segment of the Jiangnan orogen and its tectonic significance[J]. Geology in China, 46(3): 493-516(in Chinese with English abstract).

Fan X K, Mavrogenes J, Hou Z Q, Zhang Z Y, Wu X Y and Dai J L. 2019. Petrogenesis and metallogenic significance of multistage granites in Shimensi tungsten polymetallic deposit, Dahutang giant ore field, South China[J]. Lithos, 336-337: 326-344.

Gilder S A, Keller G R, Luo M and Goodell P C. 1991. Eastern Asia and the western Pacific timing and spatial distribution of rifting in China[J]. Tectonophysics, 197(2-4): 225-243.

Harrison T M, Catlos E J and Montel J M. 2002. U-Th-Pb dating of phosphate minerals[J]. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 48: 523-558.

Huang A J, Wen Z G, Liu S B, Liu X Q, Liu X M, Zhang J P, Shi G H and Liu Z Q. 2013. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Taqian W-Mo deposit in Leping County, Jiangxi Province and its geological implications[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 32(4): 496-504(in Chinese with English abstract).

Huang L C and Jiang S Y. 2012. Zircon U-Pb chronology, geochemis-

try and genesis of porphyritic muscovite granite from dahutang tungsten deposit in Jiangxi Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 28(12): 3887-3900(in Chinese with English abstract).

Huang L C and Jiang S Y. 2013. Study on the chronological, geochemical characteristics and genesis of Dahutang tungsten-rich granite porphyry in Jiangxi[J]. Acta Petrologica Sinica, 29(12): 4323-4335 (in Chinese with English abstract).

Isozaki Y. 1997. Jurassic accretion tectonics of Japan[J]. Island Arc, 6 (1): 25-51.

Jiangxi Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development. 2020. Report on the verification of resources and reserves of Yangchuling tungsten deposit[R]. (in Chinese).

Kalt A, Corfu F and Wijbrans J R. 2000. Time calibration of a *P-T* path from a Variscan high-temperature low-pressure metamorphic complex(Bayerische Wald, Germany) and the detection of inherited monazite[J]. Contrib Mineral Petrol, 138: 143-163.

Kong Z G, Liang T, Mao J W,Xu S F, Xu H B, Yan P P and Jin X Y. 2018. Study on petrogenesis of granodiorite, metallogenic epoch and petrogenetic-metallogenetic setting in the Zhuxiling tungsten polymetallic deposit, southern Anhui Province, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 34(9): 2632-2656(in Chinese with English abstract).

Li B, Zhang Z Z, Wu M A, Zhou T F, Zhao W G, Cai X B and Di Q S. 2015. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and molybdenite Re-Os dating of the Dawujian W-Mo polymetallic deposit, Ningguo, Anhui Province[J]. Geological Bulletin of China, 34(Supp.): 569-578(in Chinese with English abstract).

Li B L, Xie Y H, Zhao R and Li R M. 1985. Magmatism and geochemistry of the calc-alkaline complex in Duchangyang Chuling, Jiangxi[J]. Acta Petrologica Sinica, (2): 1-16(in Chinese with English abstract).

Li Q L, Lin W, Su W, Li X H, Shi Y H, Liu Y and Tang G Q. 2011. SIMS U-Pb rutile age of low-temperature eclogites from southwestern Chinese Tianshan, NW China[J]. Lithos, 2011, 122(1-2): 76-86.

Li Q L, Li X H, Lan Z W, Guo C L, Yang Y N, Liu Y and Tang G Q. 2013. Monazite and xenotime U-Th-Pb geochronology by ion microprobe: Dating highly fractionated granites at Xihuashan tungsten mine, SE China[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 66: 64-80.

Li S, Yang X Y and Sun W D. 2012. Ages and zircon Hf isotope geochemistry of the Dengjiawu Mo deposit in Shexian,South Anhui Province[J].Acta Petrologica Sinica,28(12):3980-3992(in Chinese with English abstract).

Liati A, Gebauer D and Wysoczanski R. 2002. U-Pb SHRIMP-dating of zircon domains from UHP garnet-rich mafic rocks and late pegmatoids in the Rhodope zone (N Greece): Evidence for Early Cretaceous crystallization and Late Cretaceous metamorphism[J]. Chemistry Geology, 184: 281-299.

Liu J X, Chen H W, Liu X C, Wang G, Li C and Zhang J G. 2015. Isotopic age dating of Huashandong tungsten deposit in Xiushui

County, Jiangxi Province and its geological significance[J]. Resources Survey and Environment, 36(1): 1-9(in Chinese).

Liu P, Mao J W, Santosh M, Xu L G, Zhang R Q and Jia L H. 2018a. The Xiling Sn deposit, eastern Guangdong Province, southeast China: A new genetic model from $^{40}Ar/^{39}Ar$ muscovite and U-Pb cassiterite and zircon geochronology[J]. Econ. Geol., 113(2): 511-530.

Liu P, Mao J W, Pirajno F, Jia L H, Zhang F and Li Y. 2018b. Ore genesis and geodynamic setting of the Lianhuashan porphyry tungsten deposit, eastern Guangdong Province, SE China: Constraints from muscovite $^{40}Ar-^{39}Ar$ and zircon U-Pb dating and Hf isotopes[J]. Mineralium Deposita, 53(6): 797-814.

Liu S B, Liu Z Q, Wang C H, Wang D H, Zhao Z and Hu Z H. 2017. Geochemical characteristics of REEs and trace elements and Sm-Nd dating of scheelite from the Zhuxi giant tungsten deposit in northeast Jiangxi[J]. Earth Science Frontiers, 24(5): 17-30(in Chinese with English abstract).

Liu Y S, Gao S, Hu Z C, Gao C G, Zong K Q and Wang D B. 2010a. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons of mantle xenoliths[J]. Journal of Petrology, 51(1-2): 537-571.

Liu Y S, Hu Z C, Zong K Q , Gao C G, Gao S, Juan X and Chen H H. 2010b. Reappraisement and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS[J]. Chinese Science Bulletin, 55(15): 1535-1546.

Luo G, Zhai H Y, Xiao R G, Mei Y X and Huang X B.2016. Zircon U-Pb geochronology of granite in the Huashandong tungsten deposit, Jiangxi Province, China and its geological significance[J]. Geoscience, 30(5): 1014-1025(in Chinese with English abstract).

Man F S and Wang X S. 1988. Isotopic geochronology of the Yangchuling porphyry tungsten-molybdenum deposit[J]. Mineral Resources and Geology, (4): 61-67(in Chinese).

Mao J W, Stein H, Du A D, Zhou T F, Mei Y X, Li Y F, Zang W S and Li J W. 2004. Molybdenite Re-Os precise dating for molybdenite from Cu-Au-Mo deposits in the middle-lower reaches of Yangtze River Belt and its implications for mineralization[J]. Acta Geologica Sinica, (1): 121-131(in Chinese).

Mao J W, Shao Y J, Xie G Q, Zhang J D and Chen M C. 2009. Mineral deposit model for porphyry-skarn polymetallic copper deposits in Tongling ore dense district of Middle-Lower Yangtze Valley metallogenic belt[J]. Mineral Deposits, 28(2): 109-119(in Chinese with English abstract).

Mao J W, Duan C, Liu J L and Zhang C. 2012. Metallogeny and corresponding mineral deposit model of the Cretaceous terrestrial volcanic-intrusive rocks-related polymetallic iron deposits in Middle-Lower Yangtze River Valley[J]. Acta Petrologica Sinica, 28(1): 1-14(in Chinese with English abstract).

Mao J W, Xiong B K, Liu J, Pirajno, F, Cheng Y B, Ye H S, Song S W and Dai P. 2017. Molybdenite Re/Os dating, zircon U-Pb age and geochemistry ofgranitoids in the Yangchuling porphyry W-Mo de-

posit (Jiangnan tungsten ore belt), China: Implications for petrogenesis, mineralizationand geodynamic setting[J]. Lithos, 286-287: 35-52.

Mao J W,Wu S H,Song S W,Dai P, Xie G Q, Su Q W, Liu P, Wang X G, Yu Z Z, Chen X Y and Tang W X. 2020. The world-class Jiangnan tungsten belt: Geological characteristics, metallogeny, and ore deposit model[J]. Chinese Science Bulletin, 65: 3746-3762(in Chinese).

Mao Z H, Cheng Y B, Liu J J, Yuan S D, Wu S H, Xiang X K and Luo X H. 2013. Geology and molybdenite Re-Os age of the Dahutang granite-related veinlets-disseminated tungsten ore field in the Jiangxi Province, China[J]. Ore Geology Reviews, 53: 422-433.

Maruyama S, Isozaki Y, Kimura G and Terabayashi M. 1997. Paleogeographic maps of the Japanese Islands: Plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present[J]. Island Arc, 6(1): 121-142.

Mezger K, Hanson G N and Bohlen S R. 1989. High-precision U-Pb ages of metamorphic rutile: Application to the cooling history of high-grade terranes[J]. Earth and Planetary Science Letters, 96(1-2): 106-118.

Ni P and Wang G G. 2017. Multiple episodes of Cu-Au mineralization in the northeastern section of the Qin-Hang metallogenic belt induced by reworking of continental crust[J]. Acta Petrologica Sinica, 33(11): 3373-3394(in Chinese with English abstract).

Norbert C. 2013. Is there any objective reason to outdate the K-Ar method applied to fine-grained minerals[J] . Central European Geology, 56(2-3): 34.

Norbert C and Weh A. 2014. Time constraints for the tectono-thermal evolution of the Cantabrian Zone in NW Spain by illite K-Ar dating[J]. Tectonophysics, 623: 39-51.

Ouyang Y, Wei J, Lu Y, Zhang W, Yao Z, Rao J, Chen G and Pan X. 2019. Muscovite ^{40}Ar-^{39}Ar age and its geological significance in Zhuxi W (Cu) deposit, northeastern Jiangxi[J]. Journal of Central South University, 26(12): 3488-3501.

Pan X, Hou Z, Li Y, Chen G, Zhao M, Zhang T, Zhang C, Wei J and Kang C. 2017. Dating the giant Zhuxi W-Cu deposit (Taqian-Fuchun ore belt) in South China using molybdenite Re-Os and muscovite Ar-Ar system[J]. Ore Geology Reviews, 86: 719-733.

Parrish R R. 1990. U-Pb dating of monazite and its application to geological problems[J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 27(11): 1431-1450.

Qin Y, Wang D H, Li Y H, Wang K Y, Wu L B and Mei Y P. 2010a. Rock-forming and ore-forming ages of the Baizhangyan tungsten-molybdenum ore deposit in Qingyang, Anhui Province and their geological significance[J]. Earth Science Frontiers, 17: 170-177 (in Chinese with English abstract).

Qin Y, Wang D H, Wu L B and Mei Y P. 2010b. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the mineralized porphyry in the Dongyuan W deposit in Anhui Province and its geological significance[J]. Acta Geologica Sinica, 84(4): 479-484(in Chinese).

Sheng J F, Chen Z H, Liu L J, Ying L J, Huang F, Wang D H, Wang J H and Zeng L. 2015. Outline of metallogeny of tungsten deposits in China[J]. Acta Geologica Sinica, 89(6): 1038-1050(in Chinese with English abstract).

Shu L S, Yu J H, Jia D, Wang B, Shen W Z and Zhang Y Q. 2008. Early Paleozoic orogenic belt in the eastern segment of South China[J]. Geological Bulletin of China, 27: 1581-1593(in Chinese with English abstract).

Shu L S, Jahn B M, Charvet J and Santosh M. 2014. Early Paleozoic depositional environment and intracontinental orogeny in the Cathaysia Block (South China): Implications from stratigraphic, structural, geochemical and geochronologic evidence[J]. American Journal of Science, 314: 154-186.

Shu L S, Wang B, Cawood P A, Santosh M and Xu Z Q. 2015. Early Paleozoic and Early Mesozoic intraplate tectonic and magmatic events in the Cathaysia Block, South China[J]. Tectonics, 34(8): 1600-1621.

Song G X, Qin K Z, Li G M, Liu T B, Li J X, Li X H and Chang Z S. 2012. Geochronologic and isotope geochemical constraints on magmatism and associated W-Mo mineralization of the Jitoushan W-Mo deposit, Middle-Lower Yangtze Valley[J]. International Geology Review, 54: 1532-1547.

Spear F S and Parrish R R. 1996. Petrology and cooling rates of the Valhalla complex, British Columbia, Canada[J]. J Petrol, 37: 733-765.

Su W Q, Mao J W, Wu S H, Zhang Z C and Xu S F. 2018. Geochronology and geochemistry of the granitoids and ore-forming age in the Xiaoyao tungsten polymetallic skarn deposit in the Jiangnan Massif tungsten belt, China: Implications for their petrogenesis, geodynamic setting, and mineralization[J]. Lithos, 296-299: 365-381.

Suzuki K, Adachi M and Kajizuka I. 1994. Electron microprobe observations of Pb diffusion in metamorphosed detrital monazites[J]. Earth Planet Sci. Lett., 128: 391-405.

Tera F and Wasserburg G J. 1972. U-Th-Pb systematics in three apollo 14 basalts and the problem of initial Pb in lunar rocks[J]. Earth and Planetary Science Letters, 14(3): 281-304.

Tomaschek F, Kennedy A K, Villa I M, Lagos M and Ballhaus C. 2003. Zircons from Syros, Cyclades, Greece-recrystallization and mobilization of zircon during high-pressure metamorphism[J]. Jour of Petrology, 44(11): 1977- 2002.

USGS. 2018. Mineral commodity summary[M].

Wang G G, Ni P, Zhao K D, Wang X L, Liu J Q, Jiang S Y and Chen H. 2012. Petrogenesis of the Middle Jurassic Yinshan volcanic-intrusive complex, SE China: Implications for tectonic evolution and Cu-Au mineralization[J]. Lithos, 150: 135-154.

Wang G G, Ni P, Yao J, Wang X L, Zhao K D, Zhu R Z, Xu Y F, Pan J Y, Li L and Zhang Y H. 2015. The link between subduction-modified lithosphere and the giant Dexing porphyry copper deposit, South China: Constraints from high-Mg adakitic rocks[J]. Ore Geology Reviews, 67: 109-126.

Wang G G, Ni P, Zhao C, Wang X L, Li P F, Chen H, Zhu A D and Li L. 2016. Spatio-temporal reconstruction of Late Mesozoic silicic

large igneous province (SLIP) and related epithermal mineralization in South China: Insights from the Zhilingtou volcanic-intrusive complex[J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 121(11): 7903-7928.

Wang G G, Ni P, Zhao C, Yao J, Li L, Zhao D L, Zhu A D and Hu J S. 2019. The research advances and genetic model of the giant Dexing Cu-Au ore cluster[J]. Acta Petrologica Sinica, 35(12): 3644-3658(in Chinese with English abstract).

Wang G G, Ni P, Li L, Wang X L, Zhu A D, Zhang Y H, Zhang X, Liu Z and Li B. 2020. Petrogenesis of the Middle Jurassic andesitic dikes in the giant Dexing porphyry copper ore field, South China: Implications for mineralization[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 196: 104-375.

Wang X L, Coble M A, Valley J W, Shu X J, Kitajima K, Spicuzza M J and Sun T. 2014. Influence of radiation damage on Late Jurassic zircon from southern China: Evidence from in situ measurements of oxygen isotopes, Laser Raman, U-Pb ages, and trace elements[J]. Chemical Geology, 389: 122-136.

Wilde S A, Valley J W, Peck W H and Graham C M. 2001. Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans on the Earth 4.4 Gyr ago[J]. Nature, 409: 175-178.

Xiao X, Zhou T F, Yuan F, Fan Y, Zhang D Y, Liu D Z, Huang W P and Chen X F. 2017. The geochronology of the Qingyang Gaojiabang tungsten-molybdenum deposit and its geological significance, Anhui Province, East China[J]. Acta Petrologica Sinica, 33: 859-872(in Chinese with English abstract).

Xu B, Guo L Z and Shi Y S. 1992. Proterozoic terranes and multi-stage collisional orogens in Anhui-Zhejiang-Jiangxi area[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-110(in Chinese).

Xu K Q, Liu Y J and Yu S Y. 1959. Types of tungsten ore in China and their distribution laws[J]. Journal of Nanjing University(Natural Sciences), (2):31-49+114-116(in Chinese).

Xu X B, Zhang Y Q, Jia D, Shu L S and Wang R R. 2009. Early Mesozoic geotectonic processes in South China[J]. Geology in China, 36(3): 573-593(in Chinese).

Yang X H, Hu W J, Zhong Q H, Zhu C J, Wan Ha and Hu Z H. 2019. Geological characteristics, ore controlling factors and prospecting indicators of Dongpingquartz vein type Wolframite deposit in Jiangxi[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 49(5): 1301-1316(in Chinese with English abstract).

Ye H M, Zhang X and Zhu Y H. 2016. In-situ Monazite U-Pb geochronology of granites in Shimensi tungst-en polymetallic deposit, Jiangxi Province and its geological significance[J]. Geotectonica et Metallogena, 40(1): 58-70(in Chinese).

Zeng Q Q, Hu Z H, Wang X G, Gong L X, Nie L M and Li Q. 2019. Geochronology of the Yangchuling tungsten molybdenum depoist in Duchang County, Jiangxi Province[J]. Geology in China, 46(4): 841-849(in Chinese with English abstract).

Zhang F S, Xu J, Zhang J and Guo J S. 2020. Geochemical Characteristics, Zircon U-Pb Age and Geological Significance of New Proterozoic Granites in Jiuling Area, Jiangxi Province[J]. Journal of East China Institute of Technology(Natural Science Edition), 43(1): 12-20(in Chinese with English abstract).

Zhang M M, Zhou T F, Yuan F, Li X H, Liu X J and Jia C. 2011. Reserves estimation of porphyry iron deposit in the Middle-Lower reaches of Yangtze river area, China[J]. Acta Geologica Sinica, 85(7): 1215-1222(in Chinese).

Zhang Y Q, Xu X B, Jia D and Shu L S. 2009. Deformation record of the change from Indosinian collision-related tectonic system to Yanshanian subduction-related tectonic system in South China during the Early Mesozoic[J]. Earth Science Frontiers, 16(1): 234-247(in Chinese with English abstract).

Zhao C, Xie X N, Ma C, Liu J X and Cao C H. 2015. Geological significance of zircon age and Re-Os isotopic measurement on molybdenite from Matou Cu-Mo polymetallic deposit Chizhou, Anhui Province, China[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 25(12):3461-3472(in Chinese with English abstract).

Zhao G C. 2015. Jiangnan orogen in South China: Developing from divergent double subduction[J]. Gondwana Research, 27 (3): 1173-1180.

Zhao W W, Zhou M F, Li Y H M, Zhao Z and Gao J F. 2017. Genetic types, mineralization styles, and geodynamic settings of Mesozoic tungsten deposits in South China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 137: 109-140.

Zheng Y F, Wu R X, Wu Y B, Zhang S B, Yuan H L and Wu F Y. 2008. Rift melting of juvenile arc-derived crust: Geochemical evidence from Neoproterozoic volcanic and granitic rocks in the Jiangnan orogen, South China[J]. Precambrian Research, 163(3-4): 351-383.

Zhou T F and Yue S C. 2000. Forming conditions and mechanism for the fluid ore-forming system of the copper, gold deposits in the Middle and Lower reaches of the Yangtze river area[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, (5): 697-707(in Chinese with English abstract).

Zhong Y F, Ma C Q, She Z B, Lin G C, Xu H J, Wang R J, Yang K G and Liu Q. 2005. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of the Jiuling granitic complex Batholith in Jiangxi Province[J]. Journal of Earth Science, 30(6): 685-691(in Chinese with English abstract).

Zhou T F, Fan Y, Wang S W and White N C. 2017. Metallogenic regularity and metallogenic model of the Middle-Lower Yangtze river valley metallogenic belt[J]. Acta Petrologica Sinica, 33(11): 3353-3372(in Chinese with English abstract).

Zhou T F, Nie L Q, Wang S W, Wang F Y and Zhang Q M. 2019. Tungsten deposits in the Middle-Lower Yangtze metallogenic belt, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 35(12): 3592-3608(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

陈国华,舒良树,舒立旻,张诚,欧阳永棚. 2015. 江南东段朱溪钨(铜)多金属矿床的地质特征与成矿背景[J]. 中国科学: 地球科学, 45(12): 1799-1818+1-6.

陈雪霏,汪应庚,孙卫东,杨晓勇 . 2013. 皖南宁国竹溪岭地区花岗岩锆石 U-Pb 年代学及地球化学及其成因研究[J]. 地质学报, 87(11): 1662-1678.

迟实福 ,姬金生 . 1985. 阳储岭斑岩型钨钼矿床含矿斑岩及矿化特征[J]. 长春地质学院学报, (1): 37-58.

段政,廖圣兵,褚平利,黄文成,朱延辉,舒徐洁,李长波 . 2019. 江南造山带东段新元古代九岭复式岩体锆石 U-Pb 年代学及构造意义[J]. 中国地质,46(3): 493-516.

黄安杰,温祖高,刘善宝,刘消清,刘献满,张家菁,施光海,刘战庆 . 2013. 江西乐平塔前钨钼矿中辉钼矿 Re-Os 定年及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 32(4): 496-504.

黄兰椿,蒋少涌 . 2012. 江西大湖塘钨矿床似斑状白云母花岗岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学及成因研究[J]. 岩石学报, 28(12): 3887-3900.

黄兰椿,蒋少涌 . 2013. 江西大湖塘富钨花岗斑岩年代学、地球化学特征及成因研究[J]. 岩石学报, 29(12): 4323-4335.

江西省地质矿产勘查开发局 . 2020. 阳储岭钨矿资源储量核实报告[R].

孔志岗,梁婷,毛景文,徐生发,许红兵,闫盼盼,金修勇 . 2018. 皖南竹溪岭钨多金属矿床花岗闪长岩成因、成矿时代及成岩成矿背景研究[J].岩石学报,34(9):2632-2656.

李斌,张赞赞,吴明安,周涛发,赵文广,蔡晓兵,狄勤松 . 2015. 皖南宁国大坞尖钨钼矿床成岩成矿年龄——以花岗闪长斑岩锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄为依据[J]. 地质通报,34(增): 569-578.

李秉伦,谢奕汉,赵瑞,李若梅 . 1985. 江西都昌阳储岭钙碱性杂岩体岩浆作用及地球化学[J]. 岩石学报, (2): 1-16.

李双,杨晓勇,孙卫东 .2012. 皖南歙县邓家坞钼矿床年代学及 Hf 同位素地球化学研究[J]. 岩石学报, 28(12):3980-3992.

刘进先,陈浩文,刘兴畅,王高,李超,张继高 . 2015. 江西修水花山洞钨矿床同位素年代学研究及其意义[J]. 资源调查与环境, 36(1): 1-9.

刘善宝,刘战庆,王成辉,王登红,赵正,胡正华 . 2017. 赣东北朱溪超大型钨矿中白钨矿的稀土、微量元素地球化学特征及其 Sm-Nd 定年[J]. 地学前缘, 24(5): 17-30.

罗刚,瞿泓滢,肖荣阁,梅燕雄,黄修保 . 2016. 江西省花山洞钨矿花岗岩锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 现代地质, 30(5): 1014-1025.

满发胜 ,王小松 . 1988. 阳储岭斑岩型钨钼矿床同位素地质年代学研究[J]. 矿产与地质, (4): 61-67.

毛景文, Stein H,杜安道,周涛发,梅燕雄,李永峰,藏文栓,李进文 . 2004. 长江中下游地区铜金(钼)矿 Re-Os 年龄测定及其对成矿作用的指示[J]. 地质学报, (1): 121-131.

毛景文,邵拥军,谢桂青,张建东,陈毓川 . 2009. 长江中下游成矿带铜陵矿集区铜多金属矿床模型[J]. 矿床地质, 28(2): 109-119.

毛景文,段超,刘佳林,张成 . 2012. 陆相火山-侵入岩有关的铁多金属矿成矿作用及矿床模型——以长江中下游为例[J]. 岩石学报, 28(1): 1-14.

毛景文,吴胜华,宋世伟,戴盼,谢桂青,苏蔷薇,刘鹏,王先广,余忠珍,陈祥云,唐维新 . 2020. 江南世界级钨矿带: 地质特征、成矿规律和矿床模型[J]. 科学通报,65: 3746-3762.

倪培,王国光 . 2017. 大陆再造与钦杭带北东段多期铜金成矿作用[J]. 岩石学报, 33(11): 3373-3394.

秦燕,王登红,李延河,王克友,吴礼彬,梅玉萍 . 2010a. 安徽青阳百丈岩钨钼矿床成岩成矿年龄测定及地质意义[J].地学前缘,17(2): 170-177.

秦燕,王登红,吴礼彬,梅玉萍 . 2010b. 安徽东源钨矿含矿斑岩中的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 84(4): 479-484.

盛继福,陈郑辉,刘丽君,应立娟,黄凡,王登红,王家欢,曾乐 . 2015. 中国钨矿成矿规律概要[J]. 地质学报, 89(6): 1038-1050.

舒良树,于津海,贾东,王博,沈渭洲,张岳桥 . 2008. 华南东段早古生代造山带研究[J]. 地质通报, 27: 1581-1593.

王国光,倪培,赵超,姚静,李利,赵丹蕾,朱安冬,胡金山 . 2019. 德兴大型铜金矿集区的研究进展和成矿模式[J]. 岩石学报, 35(12): 3644-3658.

肖鑫,周涛发,袁峰,范羽,张达玉,刘东周,黄伟平,陈雪锋 . 2017. 安徽青阳高家塝钨钼矿床成岩成矿时代及其地质意义[J].岩石学报, 33(3):859-872.

徐备,郭令智,施央申 . 1992. 皖浙赣地区元古代地体和多期碰撞造山带[M].北京: 地质出版社. 1-110.

徐克勤,刘英俊,俞受鋆 . 1959. 中国鎢礦的类型及其分布规律[J]. 南京大学学报(自然科学版), (2):31-49+114-116.

徐先兵,张岳桥,贾东,舒良树,王瑞瑞 . 2009. 华南早中生代大地构造过程[J]. 中国地质, 36(3): 573-593.

杨细浩,胡文洁,钟起泓,朱昌杰,万欢,胡正华 . 2019. 江西东坪石英脉型黑钨矿矿床地质特征、控矿因素及找矿标志[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 49(5): 1301-1316.

叶海敏,张翔,朱云鹤 .2016. 江西石门寺钨多金属矿床花岗岩独居石 U-Pb 精确定年及地质意义[J].大地构造与成矿学,40(1):58-70.

曾庆权,胡正华,王先广,龚良信,聂龙敏,李倩 . 2019. 江西省都昌县阳储岭钨钼矿年代学研究[J]. 中国地质, 46(4): 841-849.

张福神,徐进,张娟,郭金山 . 2020. 江西九岭地区新元古代花岗岩地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 43(1): 12-20.

张明明,周涛发,袁峰,李晓晖,李修钰,贾蔡 . 2011. 长江中下游地区玢岩型铁矿床资源储量估算研究[J]. 地质学报,85(7): 1215-1222.

张岳桥,徐先兵,贾东,舒良树 . 2009. 华南早中生代从印支期碰撞构造体系向燕山期俯冲构造体系转换的形变记录[J]. 地学前缘, 16(1): 234-247.

赵超,谢兴楠,马春,柳建新,曹创华 . 2015. 安徽池州马头铜钼矿床锆石年龄与辉钼矿 Re-Os 同位素测定的地质意义[J]. 中国有色金属学报, 25(12): 3461-3472.

钟玉芳,马昌前,佘振兵,林广春,续海金,王人镜,杨坤光,刘强 . 2005. 江西九岭花岗岩类复式岩基锆石 SHRIMP U-Pb 年代学[J]. 地球科学, 30(6): 685-691.

周涛发,岳书仓 . 2000. 长江中下游铜、金矿床成矿流体系统的形成条件及机理[J]. 北京大学学报(自然科学版), (5): 697-707.

周涛发,范裕,王世伟, White N C. 2017. 长江中下游成矿带成矿规律和成矿模式[J]. 岩石学报, 33(11): 3353-3372.

周涛发,聂利青,王世伟,汪方跃,张千明 . 2019. 长江中下游成矿带钨矿床[J]. 岩石学报, 35(12): 3592-3608.